

# ОБМЕН ОПЫТОМ: ПРИВОДЫ МАШИН

УДК 681.527.3

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СХЕМНИХ РІШЕНЬ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ СИСТЕМ ПРИВОДІВ КОЛІСНИХ ТА ГУСЕНИЧНИХ МАШИН СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

**О.Я. Ніконов**, кандидат технічних наук

**О.Є. Скворчевський**, аспірант

### 1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ В ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ

Гідравлічні приводи та пристрої знайшли широке застосування у складі колісних та гусеничних машин спеціального призначення. Це зумовлено рядом переваг гідропривода порівняно з іншими типами приводів: високою питомою потужністю, відносною простістю здійснення поступального руху, здатністю робочого тіла гідроприводу – рідини демпфувати різні удари та вібрації, тощо. Аналіз конструкцій військових колісних та гусеничних машин [1] показує, що по мірі їх історичного розвитку гідравлічні пристрої знаходили все більш широке застосування в їх складі. Разом з тим значний розвиток електроніки дозволив створити різні системи автоматичного керування, які класифікуються за характером внутрішніх динамічних процесів (аналогові та дискретні, лінійні та нелінійні), за структурою (системи зі змінною структурою, системи з самоналаштуванням структури) та за іншими ознаками [2, 3].

Інтеграція гідравлічних пристроїв та електронних систем керування дозволяє вирішувати задачі підвищення якості процесів керування, адаптивного налаштування та підтримки параметрів або структури системи при дії на об'єкт керування випадкових збурень, діагностики відмов та несправностей при збереженні відносно невеликих маси та габаритів комплексу «привод-система керування», що особливо важливо при їх експлуатації у складі мобільних машин спеціального призначення.

Таким чином, постає актуальна задача створення сучасних електрогідравлічних перетворювачів (ЕГП) здатних надійно працювати в умовах підвищеної запиленості зовнішнього середовища, великому перепаді температур, значних вібраціях та ударах та інших несприятливих факторах, що виникають при експлуатації колісних та гусеничних машин спеціального призначення.

### 2. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЯГНЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

В фундаментальних роботах [4-8] досить детально розглянуті різні схемні рішення ЕГП, відмічено їх переваги та недоліки і надано рекомендації щодо їх застосування в різних галузях машинобудування. Однак, схемні рішення викладені в роботах [4-8] відповідають рівню техніки 60-х, 70-х років і не можуть враховувати останніх досягнень в галузі електро-

гідроавтоматики та електрогідравлічних приводів.

В роботах [9, 10] надається короткий огляд конструкцій, технічних характеристик та можливих напрямків застосування гідроапаратури з пропорційним електричним керуванням. Оскільки роботи присвячені пропорційній гідроапаратурі взагалі, то в них не проводиться детального огляду перших ступенів гідроапаратів – електрогідравлічних перетворювачів, крім того огляд орієнтовано на гідросистеми стаціонарних машин. Таким чином, він не відповідає вимогам аналізу схемних рішень ЕГП для гідроприводів мобільних машин.

В дисертації [11] проведений аналіз та запропонована достатньо повна класифікація електрогідравлічних слідкуючих приводів випробувального обладнання, в тому числі ЕГП. Але вузька галузева спеціалізація такого аналізу не дає можливості його застосування до електрогідравлічних приводів мобільних машин спеціального призначення.

В статті [12] надається коротке порівняння ЕГП, реалізованих на базі золотникових пар, з ЕГП на базі елементів сопло-заслінка та клапанних пар. Однак, в зазначеній статті не розглянуто ряд інших типів перетворювачів.

Таким чином, розгляд, порівняння та аналіз ЕГП різних типів та обрання найкращого для експлуатації у складі систем приводів колісних та гусеничних машин спеціального призначення є актуальною науковою задачею.

### 3. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Задачею даної роботи є порівняльний аналіз різних схемних рішень ЕГП, виявлення переваг та недоліків ЕГП різних типів та виділення серед них таких, які найбільш придатні для використання у складі колісних та гусеничних машин спеціального призначення.

### 4. СХЕМНІ РІШЕННЯ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

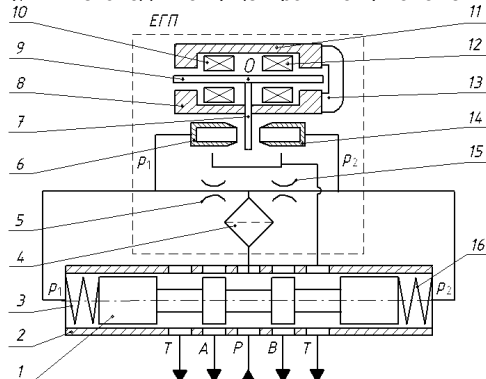
*4.1 ЕГП на базі елемента сопло-заслінка та електро-механічного поляризованого перетворювача*

Для більшої наочності схему та роботу ЕГП на базі елемента сопло-заслінка та поляризованого електро-механічного перетворювача розглянемо у складі електрогідравліч-

ного підсилювача, наприклад фірми MOOG [13], як одного з найбільш типових апаратів цього класу.

Даний електрогідравлічний підсилювач (рис. 1) складається з ЕГП, золотника (1), який центрується пружинами (3, 16), розташованого у втулці (2) з розточками, що сполучаються з каналом подачі (P) робочої рідини, зливу (T) робочої рідини, каналами (A, B) регульованої витрати. ЕГП містить два дроселі (5, 15) постійного перетину та два дроселі змінного перетину, що утворені соплами (6, 14) та заслінкою (7), яка з'єднана з якорем (9) електромеханічного поляризованого перетворювача. Якір (9) закріплений на вісі (O) перпендикулярній площині рисунка та розташований між нижнім полюсним магнітопроводом (8) та верхнім полюсним магнітопроводом (11). Поляризує магнітний потік в магнітопроводах (8, 11) створюється постійним магнітом (13). Котушки (10, 12) які створюють керуючі магнітні потоки, одягнені на якір (9) із зазором так, що якір (9) може повертатися навколо вісі (O). Порожнина між дроселем постійного опору та дроселем сопло-заслінка змінного опору має назву міждросельної порожнини.

Електрогідравлічний підсилювач працює наступним чином. При відсутності струму керування на котушках (10, 12) якір (9) з заслінкою (7) знаходиться в центральному положенні. Зазори між заслінкою (7) та соплами (6, 14) однакові, що обумовлює рівність тисків  $p_1$  у міждросельній порожнині між соплом (6) та дроселем (5) та  $p_2$  у міждросельній порожнині між соплом (14) та дроселем (15), а отже і під торцями золотника (1), який знаходиться в центральному положенні.



**Рисунок 1.** Схема електрогідравлічного підсилювача з ЕГП на базі елемента сопло-заслінка та поляризованого електромеханічного перетворювача

1 — золотник; 2 — втулка; 3, 16 — пружини; 4 — фільтр;  
5, 15 — дроселі постійного перетину; 6, 14 — сопла; 7 — заслінка;  
8 — нижній полюсний магнітопровід; 9 — якір; 10, 12 — котушки;  
11 — верхній полюсний магнітопровід; 13 — постійний магніт

При подачі струму керування наприклад на котушку (10) створюється керуючий магнітний потік, що повертає якір (9), наприклад за годинниковою стрілкою, а разом з ним заслінку (7). Таким чином, зазор між заслінкою (7) та соплом (6) зменшується, а між заслінкою (9) та соплом (14) збільшується. Це створює перепад тисків ( $p_1 - p_2$ ), який долає зусилля пружини (16) та переміщує золотник так, що канал (A) з'єднується з каналом (T), а канал (B) з каналом (P). При цьому завдяки пропорційному режиму роботи електромеханічного перетворювача та елемента сопло-заслінка досягається відповідність витрати  $Q_1$ , що надходить до лінії

каналу (B) регульованої витрати, струму  $I_1$  на вході електромеханічного перетворювача.

При знятті струму  $I_1$  якір (9) із заслінкою (7) встановлюється в нейтральне положення, тиски  $p_1$  та  $p_2$  вирівнюються, золотник (1) під дією сил пружин (3, 16) встановлюється в нейтральне положення. При подачі струму керування на котушку (12) процес проходить аналогічно.

Потужність поляризованих електромеханічних перетворювачів, як правило, дуже мала, що призводить до необхідності застосування сопел дуже малого діаметра, порядку від 0,2 до 0,5 мм. Сопла такого діаметру вкрай чутливі до забрудненості робочої рідини, тому на вході такого ЕГП встановлюють фільтр (4).

За схожою схемою виконані ЕГП, що входять до складу інших електрогідравлічних підсилювачів [14, 15].

Переваги та недоліки ЕГП на базі елемента сопло-заслінка та електромеханічного поляризованого перетворювача наведені в таблиці 1.

**Таблиця 1.**

Переваги та недоліки ЕГП на базі елемента сопло-заслінка та електромеханічного поляризованого перетворювача

Переваги	Недоліки
1. Відносно невеликі габарити і маса.	1. Наявність непродуктивної витрати робочої рідини через сопла при відсутності сигналу керування.
2. Низька інерційність, а от же високі динамічні характеристики.	2. Висока чутливість до зовнішніх магнітних полів та механічних вібрацій.
3. Низька потужність вхідного сигналу, а от же висока чутливість.	3. Різне зниження надійності при підвищенні забрудненості робочої рідини.
	4. Низька потужність вихідного сигналу.

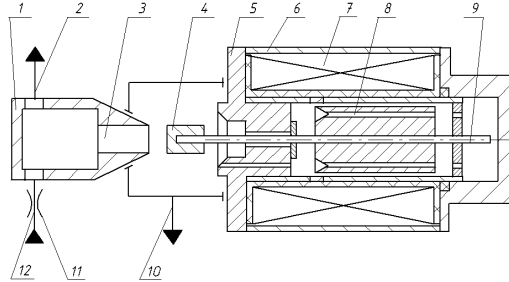
#### 4.2 ЕГП на базі елемента сопло-заслінка та пропорційного електромагніту з поступальним рухом якоря

Розглянемо схему та роботу ЕГП на базі елемента сопло-заслінка та пропорційного електромагніту з поступальним рухом якоря запропоновану в роботі [12] (рис. 2).

Такі ЕГП містять регульований елемент сопло-заслінка, заслінка (4) якого звернена до одного з торців сопла (1), котре зв'язано через дросель (11) постійного перетину з каналом (12) подачі робочої рідини. Електромеханічний перетворювач виконаний у вигляді пропорційного електромагніта, який містить нерухомий полюс (упор) (5), зовнішній магнітопровід (6), котушку (7), рухомий полюс (якір) (8), штовхач (9). Канал (2) регульованого тиску, з'єднаний з виконавчим пристроєм (не зображений), в якому необхідно регулювати тиск пропорційно електричному сигналу керування. Канал (10) з'єднаний зі зливом.

ЕГП на базі елемента сопло-заслінка та пропорційного електромагніта працює наступним чином. У вихідному положенні пропорційний електромагніт відключений від живлення, якір (8) та штовхач (9) з заслінкою (4) знаходяться у вільному положенні. Канал (3) сопла (1) відкритий, тиск в каналі (2) дорівнює мінімальному. При подачі на котушку (7) струму керування, електромагніт створює пропорційне тягове зусилля на якорі (8) та штовхачі (9) і, відповідно, на заслінці (4), що зумовлює зміну тиску в каналі (3) сопла (1) та каналі (2) регульованого тиску.

Характер залежності зміни зазору в елементі сопло-заслінка в межах робочого ходу заслінки (4) від сили струму керування в котушці (7) електромагніта визначає необхідний закон зміни тиску в каналі (2) та відповідно в виконавчому пристрої (не зображений), згідно з величиною електричного сигналу керування. Однозначність залежності тиску в каналі (2) від струму в котушці (7) електромагніта досягається завдяки пропорційній характеристиці електромагніта, яка забезпечується завдяки спеціальній формі торця рухомого полюсу (8), зверненого до нерухомого полюсу (5) [16].



**Рисунок 2.** Схема ЕГП на базі елемента сопло-заслінка та пропорційного електромагніта з поступальним рухом якоря

1 — сопло; 2 — канал регульованого тиску; 3 — канал сопла; 4 — заслінка; 5 — нерухомий полюс; 6 — зовнішній магнітопровід (корпус); 7 — котушка; 8 — рухомий полюс (якорь); 9 — штовхач; 10 — канал зливу робочої рідини; 11 — дросель постійного перетину; 12 — канал подачі робочої рідини

Представлена на рис. 2 схема може використовуватись для керування одностороннім навантаженням, наприклад, клапаном [17]. Для керування двостороннім навантаженням, наприклад, золотником пропорційного гідророзподільника необхідно використовувати два паралельно встановлених ЕГП такого типу [18].

ЕГП на базі елемента сопло-заслінка та пропорційного електромагніту з поступальним рухом якоря знайшли широке застосування у складі вітчизняної гідроапаратури з пропорційним електричним керуванням [19].

Переваги та недоліки ЕГП на базі елемента сопло-заслінка та пропорційного електромагніту з поступальним рухом якоря наведені в таблиці 2.

**Таблиця 2.**

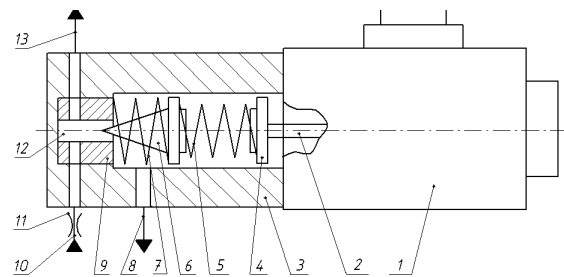
Переваги та недоліки ЕГП на базі елемента сопло-заслінка та пропорційного електромагніту з поступальним рухом якоря

Переваги	Недоліки
1. Відносна простість конструкції.	1. Відносно висока інерційність.
2. Невисока чутливість до зовнішніх магнітних полів та механічних вібрацій.	2. Наявність непродуктивної витрати робочої рідини через сопла при відсутності сигналу керування.
3. Відносно невисокі вимоги до класу чистоти робочої рідини.	3. Відносно висока потужність вхідного сигналу, що знижує чутливість.
4. Висока потужність вихідного сигналу, що дозволяє керувати безпосередньо виконавчим механізмом.	4. Відкритість каналу сопла, що не забезпечує можливості запирання каналу регульованого тиску та порожнин пов'язаних з ним, а також зміни тиску управління від максимальних значень до мінімальних.

#### 4.3 ЕГП на базі елемента сопло-конус та пропорційного електромагніта з поступальним рухом якоря

Розглянемо схему та роботу ЕГП на базі елемента сопло-конус та пропорційного електромагніта з поступальним рухом якоря, наприклад фірми REXROTH [14], представлений на рис. 3.

Такий ЕГП складається з пропорційного електромагніта (1), штовхача (2) якого взаємодіє з опорою (4) пружини (5). Інша сторона пружини оперта на торець конуса (6), який може закривати канал (12) сопла (9). Протидіюча пружина (7) компенсує силу попереднього натягу основної пружини (5) і, таким чином, усуває зону нечутливості перетворювача. Елемент сопло-конус, пружини (7, 5) та опора (4) розташовані у корпусі (3), в якому виконані розточки, що об'єднують елемент сопло-конус з каналом (8) зливу та канал (12) сопла (9) з каналом (10) подачі робочої рідини, який має дросель (11) постійного перетину, та каналом (13) регульованого тиску.



**Рисунок 3.** Схема ЕГП на базі елемента сопло-конус та пропорційного електромагніта з поступальним рухом якоря

1 — пропорційний електромагніт; 2 — штовхач; 3 — корпус; 4 — опора пружини; 5 — основна пружина; 6 — конус; 7 — протидіюча пружина; 8 — канал зливу; 9 — сопло; 10 — канал подачі робочої рідини; 11 — дросель постійного перетину; 12 — канал сопла; 13 — канал регульованого тиску

ЕГП на базі елемента сопло-конус та пропорційного електромагніта з поступальним рухом якоря працює аналогічно елементу сопло-заслінка, але передача тягового зусилля від штовхача (2) пропорційного електромагніту (1) здійснюється через пружину (5). Таким чином, тягове зусилля електромагніта перетворюється у пропорційне йому переміщення штовхача (2), що дозволяє реалізувати контур зворотного зв'язку по положенню штовхача (2). Це дозволяє значно підвищити точність регулювання вихідного параметра — тиску.

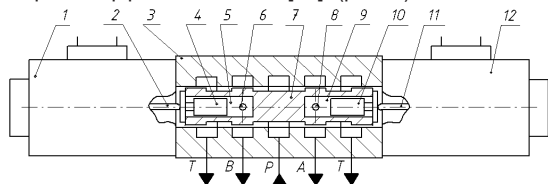
За аналогічною схемою виконані такі перетворювачі інших фірм, зокрема фірми VICKERS [19].

ЕГП на базі елемента сопло-конус та пропорційного електромагніта з поступальним рухом якоря, внаслідок аналогічності схеми та роботи, притаманні такі ж переваги та недоліки як і ЕГП на базі елемента сопло-заслінка та пропорційного електромагніту з поступальним рухом якоря (табл.2).

#### 4.4 ЕГП на базі золотникового елемента та пропорційного електромагніта з поступальним рухом якоря

ЕГП на базі золотникового елемента та пропорційного електромагніта з поступальним рухом якоря знайшли широке застосування у складі електрогідравлічних систем автоматичного керування. Вони значно відрізняються між собою за схемними рішеннями, зокрема виконанням золотника, але їх можна поділити на дві групи: такі, вихідним сигналом яких є витрата та такі, вихідним сигналом яких є тиск [7]. Друга

група ЕГП на базі золотникового елемента та пропорційного електромагніта з поступальним рухом якоря використовується значно частіше та отримала назву редукційних клапанів з пропорційним електричним керуванням. Розглянемо такий перетворювач фірми REXROTH [14], (рис. 4).



**Рисунок 4.** Схема ЕГП на базі золотникового елемента та пропорційного електромагніта з поступальним рухом якоря  
1, 12 — пропорційні електромагніти; 2, 11 — штовхачі; 3 — корпус;  
4, 10 — поршні; 5, 9 — порожнини золотника; 6, 8 — радіальні розточки золотника; 7 — золотник

Він складається з пропорційних електромагнітів (1, 12), штовхачів (2, 11) яких через поршні (4, 10) взаємодіють з золотником (7), розташованим у корпусі (3). В корпусі (3) виконані розточки, що сполучаються з каналами подачі (P) робочої рідини, зливу (T) робочої рідини, каналами (A, B) регульованого тиску. В золотнику (7) виконані осьові розточки, які разом з торцями поршнів (4, 10), протилежними іншим торцям поршнів (4, 10), що взаємодіють зі штовхачами (2, 11), утворюють порожнини (5, 9), відповідно. Також в золотнику (7) виконані радіальні отвори (6, 8) так, що порожнина (5) сполучається з каналом (B) регульованого тиску, а порожнина (9) — з каналом (A) регульованого тиску, через відповідні розточки в корпусі (3).

ЕГП на базі золотникового елемента та пропорційного електромагніта з поступальним рухом якоря працює наступним чином. При відсутності струму керування на електромагнітах (1, 12) золотник (7) знаходиться у центральному положенні, канали (A, B) регульованого тиску перекриті.

При подачі струму керування на пропорційний електромагніт (1) створюється зусилля на штовхачі (2), яке через поршень (4) передається на золотник (7). Золотник (7) зміщується та об'єднує канал подачі (P) з каналом (A) регульованого тиску, а канал (B) регульованого тиску з каналом зливу (T). Оскільки порожнина (5) через радіальний отвір (6) золотника (7) та відповідну розточку в корпусі (3) сполучається з каналом (B), то тиск в порожнині (5) дорівнює тиску в каналі (B), а тиск в порожнині (8) — тиску в каналі (A). Таким чином, при з'єднанні каналу (A) з каналом (P) утворюється зусилля тиску, що протидіє зусиллю на штовхачі (2) електромагніта (1). Під дією різниці цих двох зусиль золотник (7) рухається та змінює дроселюючу щілину, яка об'єднує канал подачі (P) та канал (A) регульованого тиску. Завдяки цьому тиск в каналі (A) знаходиться у відповідності до зусилля на штовхачі (2), а отже і струму керування електромагніту (1). Так досягається пропорційний режим роботи перетворювача на базі золотникового елемента та пропорційного електромагніту з поступальним рухом якоря. При знятті струму керування з електромагніту (1) золотник (7) встановлюється в центральне положення і роз'єднує канал (A) регульованого тиску з каналом подачі (P), а канал (B) регульованого тиску з каналом зливу (T). Таким чином, тиск в каналах (A) і (B) вирівнюється. При подачі струму керування на електро-

магніт (12) система працює аналогічно.

В даному розділі розглянуті ЕГП з циліндричним золотником, що рухається поступально. Крім такої схеми в деяких роботах [7, 21] пропонуються ЕГП з циліндричним золотником, що рухається поворотно та з плоским золотником, що рухається поступально. Однак, зазначені схемні рішення ЕГП не знайшли широкого застосування на практиці.

Переваги та недоліки ЕГП на базі золотникового елемента та пропорційного електромагніта з поступальним рухом якоря наведені в таблиці 4.

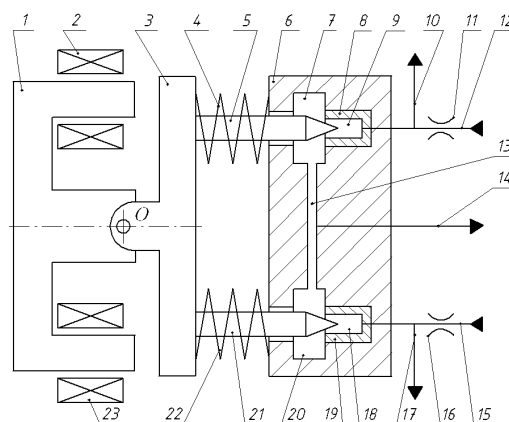
**Таблиця 4.**

Переваги та недоліки ЕГП на базі золотникового елемента та пропорційного електромагніта з поступальним рухом якоря

Переваги	Недоліки
1. Невисока чутливість до зовнішніх магнітних полів та механічних вібрацій.	1. Наявність прецизійних золотникових пар, а отже значне зниження надійності при підвищенні забрудненості робочої рідини.
2. Достатньо висока потужність вихідного сигналу.	2. Висока потужність вхідного сигналу, а отже низька чутливість.
3. Відсутність непродуктивної витрати робочої рідини через канали при відсутності сигналу керування.	3. Відносно висока інерційність, а отже низькі динамічні характеристики.
	4. Наявність зазору між корпусом і золотником, що не забезпечує можливості запирання каналів регульованого тиску та порожнин пов'язаних з ними.

#### 4.5 ЕГП на базі елемента сопло-конус та пропорційного магніту з поворотним рухом якоря

Схема ЕГП на базі елемента сопло-конус та пропорційного магніту з поворотним рухом якоря [22] представлена на рис. 5.



**Рисунок 5.** Схема ЕГП на базі елемента сопло-конус та пропорційного магніту з поворотним рухом якоря

1 — упор; 2, 23 — котушки; 3 — якор; 4, 22 — пружини;  
5, 21 — конуси; 6 — корпус; 7, 20 — порожнини зливу;  
8, 19 — сопла; 9, 18 — канали сопел; 10, 17 — канали регульованого тиску; 11, 16 — дроселі постійного перетину; 12, 15 — канали подачі робочої рідини; 13 — сполучаючий зливний канал;  
14 — канал зливу



Електрична частина такого апарату складається з упора (1) з котушками (2, 23) та якоря (3), який закріплений на упорі (1) так, що він може обертатися навколо вісі (О), перпендикулярній площині рисунка. На якорі (3) закріплені конуси (5, 21), які взаємодіють із соплами (9, 18). Якір (3) з конусами (5, 21) встановлюється в нейтральне положення пружинами (4, 22). Канали (9, 18) сопел (8, 19) через дроселі (11, 16) з'єднані з каналами (12, 15) подачі робочої рідини. Між дроселями (11, 16) постійного перетину та дроселями змінного перетину, утвореними соплами (8, 19) та конусами (5, 21) розташовані канали (10, 17) регульованого тиску. Робоча рідина, яка зливається через щілини між соплами (8, 19) та конусами (5, 21), потрапляє в порожнини зливу (7, 20), далі через сполучуючий зливний канал до каналу зливу (14).

При подачі струму на одну з котушок, наприклад (23), якір (3) повертається навколо вісі О за годинниковою стрілкою, стискає пружину (4) та переміщує конус (5) на відстань пропорційну струму живлення. Таким чином, щілина між конусом (5) та соплом (8) зменшується, що призводить до збільшення тиску в каналі (3) сопла (8) та каналі (10) регульованого тиску.

При знятті струму керування тиск в каналах (9, 18) сопел (8, 19) вирівнюється. При подачі струму керування на котушку (2) система працює аналогічно.

Переваги та недоліки ЕГП на базі елемента сопло-конус та пропорційного електромагніту з поворотним рухом якоря наведені в таблиці 5.

Таблиця 5.

Переваги та недоліки ЕГП на базі елемента сопло-конус та пропорційного електромагніту з поворотним рухом якоря

Переваги	Недоліки
1. Невисока чутливість до зовнішніх магнітних полів та механічних вібрацій.	1. Наявність непродуктивної витрати робочої рідини через сопла при відсутності сигналу керування.
2. Відносно невисокі вимоги до класу чистоти робочої рідини.	2. Висока інерційність, а отже низькі динамічні характеристики.
3. Висока потужність вихідного сигналу, що дозволяє керувати безпосередньо виконавчим механізмом.	3. Висока потужність вхідного сигналу, а отже низька чутливість.
	4. Відкритість каналу сопла, що не забезпечує можливості запирання каналів регульованого тиску та порожнин пов'язаних з ними, а також зміни регульованого тиску від максимальних значень до мінімальних.

#### 4.6 ЕГП на базі елемента струминна трубка та електромеханічного перетворювача електродинамічного типу

Елемент струминна трубка розглядається в багатьох роботах [5-7], однак такий перетворювач не знайшов широкого застосування на практиці. Електромеханічний перетворювач (ЕМП) електродинамічного типу теж представлений в літературі [23], але не знайшли широкого вжитку. Для повноти огляду розглянемо цікаве схемне рішення, у якому струминна трубка сполучується з ЕМП електродинамічного типу [24].

Для більшої наочності схему та роботу ЕГП на базі елемен-

ту струминна трубка та ЕМП електродинамічного типу розглянемо у складі електрогидравлічного підсилювача (рис. 6).

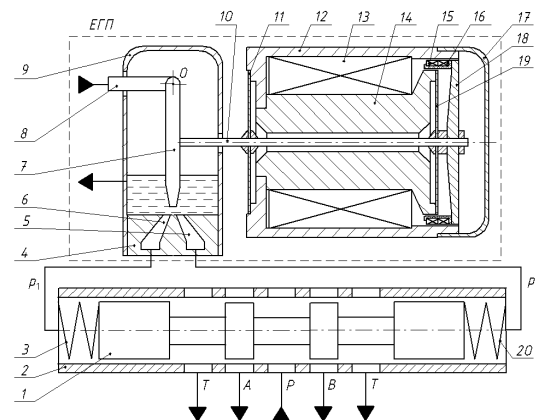


Рисунок 6. Схема ЕГП на базі елемента струминна трубка та ЕМП електродинамічного типу

- 1 — золотник; 2 — втулка; 3, 20 — пружини; 4 — блок приймальних сопел; 5, 6 — приймальні сопла; 7 — струминна трубка; 8 — трубка подачі робочої рідини; 9 — кожух механогидравлічного перетворювача; 10 — штовхач; 11, 19 — плоскі пружини; 12 — корпус ЕМП; 13 — котушка підмагнічування; 14 — сердечник; 15, 16 — керуючі котушки; 17 — кожух ЕМП; 18 — диск

Даний електрогидравлічний підсилювач складається із ЕГП, золотника (1), який центрується пружинами (3, 20), розташованого у втулці (2) з розточками, що сполучаються з каналами подачі (P) робочої рідини, зливу (T) робочої рідини; каналами (A, B) регульованого тиску. Електрогидравлічний підсилювач містить розташований в кожусі (9) блок (4) приймальних сопел (5, 6), струминну трубку (7), трубку (8) подачі робочої рідини та ЕМП. Струминна трубка (7) закріплена на трубці (8) так, що може повертатися навколо вісі О, перпендикулярній площині рисунка. ЕМП електродинамічного типу складається з розташованих в корпусі (12) та кожусі (17) котушки підмагнічування (13), яка знаходиться на сердечнику (14) та керуючих котушок (15, 16), закріплених на диску (18). До диску (18) приєднаний штовхач (10), що взаємодіє зі струминною трубкою (9). Штовхач (10) зі струминною трубкою (9) знаходяться в нейтральному положенні завдяки плоским пружинам (11, 19).

У вихідному положенні, коли на котушці підмагнічування (13) є електричний струм, а на керуючих котушках (15, 16) немає струму, штовхач (10) зі струминною трубкою (9), завдяки дії сил пружин (11, 19), знаходяться в нейтральному положенні. Тиски  $p_1$  та  $p_2$  в приймальних соплах (5, 6), а отже і під торцями золотника (1), рівні. Золотник (1) під дією сил пружин (3, 20) знаходиться в центральному положенні.

При подачі електричного струму на одну з керуючих котушок, наприклад, котушку (15), відбувається взаємодія двох магнітних потоків — котушки підмагнічування (13) та керуючої котушки (15). Внаслідок цього з'являється зусилля, яке переміщує диск (18) зі штовхачем (10), наприклад вліво. Струминна трубка (7) під дією штовхача (10) повертається навколо вісі (О) за годинниковою стрілкою в бік приймально-го сопла (6). Це призводить до збільшення тиску  $p_1$  та зменшенню тиску  $p_2$ . Таким чином, з'являється перепад тисків ( $p_1 - p_2$ ), який переміщує золотник (1) вправо. При лінійній характеристиці пружин (11, 19) переміщення штовхача (10)

відповідає струму керування на котушці (15), завдяки чому досягається пропорційний режим роботи ЕГП [23].

При знятті струму з котушки (15) штовхач (10) зі струминною трубою (7) встановлюється в нейтральне положення, тиски  $p_1$  та  $p_2$  вирівнюються, золотник (1) під дією сил пружин (3, 20) встановлюється в нейтральне положення. При подачі струму на котушку (17) процес проходить аналогічно.

Переваги та недоліки ЕГП на базі елемента струминна трубка та ЕМП електродинамічного типу наведені в таблиці 6.

**Таблиця 6.**

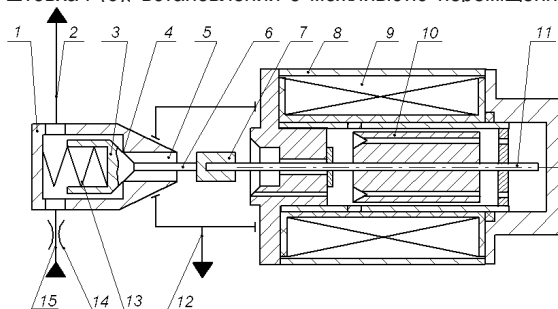
Переваги та недоліки ЕГП на базі елемента струминна трубка та ЕМП електродинамічного типу

Переваги	Недоліки
1. Низька інерційність, а отже високі динамічні характеристики.	1. Наявність непродуктивної витрати робочої рідини через струминну трубку при відсутності сигналу керування.
2. Низька потужність вхідного сигналу, а отже висока чутливість.	2. Висока чутливість до зовнішніх магнітних полів та механічних вібрацій.
3. Відносно невисокі вимоги до класу чистоти робочої рідини.	3. Низька потужність вихідного сигналу.
	4. Відкритість каналів приймальних сопел, що не забезпечує можливості запирання каналів регульованого тиску та порожнин пов'язаних з ними, а також зміни регульованого тиску від максимальних значень до мінімальних.

#### 4.7 ЕГП на базі елемента сопло-заслінка, зворотного клапана та пропорційного електромагніта з поступальним рухом якоря

Схема ЕГП на базі елемента сопло-заслінка, зворотного клапана та пропорційного електромагніта з поступальним рухом якоря подана в заявці на отримання патенту України на винахід [25].

Такий ЕГП (рис. 7) містить регульований елемент сопло-заслінка, заслінка (7) якого звернена до одного з торців сопла (1); штовхач (6), встановлений з можливістю переміщення в



**Рисунок 7.** Схема ЕГП на базі елемента сопло-заслінка, зворотного клапана та пропорційного електромагніта з поступальним рухом якоря

1 — сопло; 2 — канал регульованого тиску; 3 — запірний елемент зворотного клапана; 4 — сидло; 5 — канал сопла; 6 — штовхач клапана; 7 — заслінка; 8 — пропорційний електромагніт; 9 — котушка; 10 — якорь; 11 — штовхач; 12 — канал зливу; 13 — пружина; 14 — дросель; 15 — канал подачі робочої рідини

каналі (5) сопла (1), який зв'язаний через дросель (14) постійного перетину з каналом (15) подачі робочої рідини; електрокеруємий зворотний клапан, включений між каналом (5) сопла (1) та дроселем (14) постійного перетину. Запірний елемент (3) зворотного клапана, опертий на нерухоме сидло (4), розміщене на торці сопла (1), протилежному торцю, зверненому до заслінки (7). З іншого боку запірний елемент (3) зворотного клапана підпружинений пружиною (13). Електромеханічний перетворювач (8) виконаний у вигляді пропорційного електромагніта, який містить котушку (9), якорь (10), штовхач (11).

У вихідному положенні заслінка (7) встановлена відносно сопла (1) на відстані  $L$ , більшій робочого ходу  $b$  регулювання елемента сопло-заслінка та меншій або рівній максимальному ходу  $\delta$  якоря (10) електромагніта (8).

Канал (2) регульованого тиску з'єднаний з виконавчим пристроєм (не зображений), в якому необхідно регулювати тиск (зусилля) пропорційно електричному сигналу керування. Канал (12) зливу з'єднаний зі зливом (не позначений).

ЕГП базі елемента сопло-заслінка, зворотного клапана та пропорційного електромагніта з поступальним рухом якоря працює наступним чином. У вихідному положенні пропорційний електромагніт (8) відключений від живлення. При цьому, запірний елемент (3) зворотного клапана підпружинений пружиною (13) так, що він герметично контактує з сидлом (4), а штовхач (6), проходячи крізь канал (5) сопла (1), утримує заслінку (7) у відкритому положенні. Таким чином, канал (15) подачі робочої рідини з'єднаний з каналом (2) регульованого тиску, причому тиск у обох лініях однаковий.

При подачі на котушку (9), електромагніта (8) максимального значення струму, електромагніт (8) створює максимальне тягове зусилля на якорі (10) та, відповідно, на штовхачі (11) електромагніта (8). Сила на якорі (10) електромагніта (8) в цей час більше сили діючої з боку пружини (15) та сили статичного тиску, що діє на запірний елемент зворотного клапана (3). Він відходить від сидла (4) на максимальну відстань і заслінка (7) закриває сопло (1). Висока швидкість електромагніта (8) обумовлює при цьому постійність тиску в каналі (2) регульованого тиску.

В процесі регулювання тиску, струм на котушці (9) зменшується, зумовлюючи пропорційне зменшення зусилля на штовхачі (11) та відповідно на заслінці (7). Зусилля тиску в каналі (5) сопла (1) переміщує заслінку (7) та частина робочої рідини надходить на злив, через канал (12) зливу. Тиск в лінії (2) пропорційно зменшується.

Так як у вихідному положенні заслінка (7) встановлена відносно сопла (1) на відстані  $L$  більшим робочого ходу  $b$  регулювання елемента сопло-заслінка та меншим або рівним максимальному ходу  $\delta$  якоря (10) електромагніта (8), забезпечується незалежність робочого процесу елемента сопло-заслінка та зворотного клапана.

Характер залежності зміни зазору в елементі сопло-заслінка в межах робочого ходу  $b$  заслінки (9) від сили струму керування в котушці (9) електромагніта (8) визначає необхідний закон зміни тиску в часі в лінії (2) відводу робочої рідини та відповідно в виконавчому пристрої (не зображений), згідно з величиною електричного сигналу керування.

При знятті струму керування з котушки (9) електромагніту (8) зникає зусилля на штовхачі (11) та, відповідно, заслінці

(7) і штовхачі (6). Запірний елемент (3) під дією сил пружини (13) та статичного тиску сідає на сідло (4) та закриває канал (5) сопла (1). Тиск в каналі (15) подачі робочої рідини та управляючому каналі (2) вирівнюється.

Переваги та недоліки ЕГП бази елементу сопло-заслінка, зворотного клапана та пропорційного електромагніта з поступальним рухом якоря наведені в таблиці 7.

**Таблиця 7.**

ЕГП бази елементу сопло-заслінка, зворотного клапана та пропорційного електромагніта з поступальним рухом якоря

Переваги	Недоліки
1. Відносна простота конструкції.	1. Відносно висока інерційність.
2. Невисока чутливість до зовнішніх магнітних полів та механічних вібрацій.	2. Відносно висока потужність вхідного сигналу, що знижує чутливість.
3. Відносно невисокі вимоги до класу чистоти робочої рідини.	
4. Висока потужність вихідного сигналу, що дозволяє керувати безпосередньо виконавчим механізмом.	
5. Відсутність непродуктивної витрати робочої рідини через сопла при відсутності сигналу керування.	
6. Закритість каналу сопла, що забезпечує можливість запирання каналу регульованого тиску та порожнин пов'язаних з ним, а також зміни тиску управління від максимальних значень до мінімальних.	

## 5. ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗРОБОК

Порівняльний аналіз різних схемних рішень ЕГП вітчизняного та закордонного виробництва дозволив виявити переваги та недоліки ЕГП різних типів. Робота гідравлічних систем колісних та гусеничних машин спеціального призначення характеризується наявністю ударів та вібрацій, підвищеної запиленості зовнішнього середовища, значним перепадом температур, як зовнішнього середовища, так і в відділеннях машини, внаслідок роботи вузлів та агрегатів, взаємним впливом електромагнітних полів електроприладів, внаслідок щільності монтажу обладнання та іншими несприятливими факторами. Враховуючі вищезазначені фактори та проведений аналіз ЕГП можна сказати, що для використання у складі мобільних машин найбільше підходять ЕГП на базі елементу сопло-заслінка та пропорційного електромагніту з поступальним рухом якоря, а також ЕГП на базі елементу сопло-заслінка, зворотного клапана та пропорційного електромагніту з поступальним рухом якоря. Такий вибір обумовлений відносною простотою конструкції, невисокою чутливістю до зовнішніх магнітних полів та механічних вібрацій, відносно невисокими вимогами до класу

частоти робочої рідини, високою потужністю вихідного сигналу. ЕГП, у яких використовується пропорційний електромагніт з поступальним рухом якоря, менш інерційні ніж ЕГП у яких використовується пропорційний електромагніт з поворотним рухом якоря, однак більш інерційні ніж ЕГП, у яких використовується поляризовані електромеханічні перетворювачі. Відносно низькі динамічні характеристики обумовлені інерційністю ЕГП, у яких використовуються пропорційні електромагніти з поступальним рухом якоря, можливо покращити шляхом раціональної побудови системи автоматичного керування, яка через ЕГП діє на гідропривод, зокрема застосуванням систем автоматичного керування зі змінною структурою [26].

ЕГП на базі елемента сопло-заслінка та пропорційного електромагніту з поступальним рухом якоря доцільно використовувати у складі електрогідравлічних систем де необхідно регулювати тиск від мінімальних до максимальних значень.

ЕГП на базі елементу сопло-заслінка, зворотного клапана та пропорційного електромагніту з поступальним рухом якоря доцільно використовувати у складі електрогідравлічних систем де необхідно регулювати тиск від максимальних до мінімальних значень, а також там де необхідно надійно запирати робочі порожнини гідропривода.

Подальші дослідження та розробки в даному напрямку мають включати:

1. Дослідження впливу конструктивних факторів на статичні тягові характеристики пропорційних електромагнітів з поступальним рухом якоря та створення на базі цих досліджень пропорційних електромагнітів для роботи у складі обраних типів ЕГП.
2. Складання математичних моделей ЕГП на базі елемента сопло-заслінка та пропорційного електромагніту з поступальним рухом якоря, а також ЕГП на базі елемента сопло-заслінка, зворотного клапана та пропорційного електромагніту з поступальним рухом якоря.
3. Математичне моделювання і параметричний синтез ЕГП.
4. Виготовлення зразків та експериментальне дослідження ЕГП.
5. Ідентифікація математичних моделей ЕГП.
6. Визначення агрегатів і вузлів застосування ЕГП на базі елемента сопло-заслінка та пропорційного електромагніту з поступальним рухом якоря, а також ЕГП на базі елемента сопло-заслінка, зворотного клапана та пропорційного електромагніту з поступальним рухом якоря у складі електрогідравлічних систем колісних та гусеничних машин спеціального призначення.

Таким чином, вказаний обсяг робіт по дослідженню ЕГП на базі елемента сопло-заслінка та пропорційного електромагніту з поступальним рухом якоря, а також ЕГП на базі елемента сопло-заслінка, зворотного клапана та пропорційного електромагніту з поступальним рухом якоря має привести до створення таких ЕГП, які б найбільше відповідали вимогам використання у складі електрогідравлічних систем колісних та гусеничних машин спеціального призначення.

## Література

1. Александров Е.Е., Епифанов В.В. Быстроходные гусеничные и армейские колесные машины. Краткая история развития. Учебно-справочное пособие. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2001.
2. Александров Е.Е., Козлов Е.П., Кузнецов Б.І. Автоматичне керування рухомими об'єктами і технологічними процесами: Підручник у 3-х томах Т.1. Теорія автоматичного керування / За заг. ред. Александрова Е.Е. – Харків: НТУ «ХПІ», 2002.
3. Александров Е.Е., Костянік І.В., Ніконов О.Я. та ін. Основы автоматизации и танковые автоматизированные системы. – Харків: НТУ «ХПІ», 2002.
4. Башта Т.М. Гидравлические следящие приводы. – М., Машгиз, 1961.
5. Гамынин Н.С. Основы следящего гидравлического привода. – М., Оборонгиз, 1962.
6. Гамынин Н.С. и др. Гидравлический следящий привод / Под ред. Лещенко В.А. – М., Машиностроение, 1968.
7. Эйгенброт В.М. Преобразователи рода энергии сигналов в системах автоматического управления. – М., Энергия, 1970
8. Хохлов В.А. и др. Электрогидравлические следящие системы / Под ред. д.т.н., проф. В.А. Хохлова. – М., Машиностроение, 1971
9. Оксененко А.Я. и др. Гидравлические пропорциональные системы управления металлорежущими станками и другими машинами: Обзор. – М., НИИмаш, 1983.
10. Оксененко А.Я. и др. Состояние и перспективы развития гидроаппаратуры с пропорциональным электрическим управлением: Обзор. информ. – М., ВНИИТЭМР, 1988.
11. Складаревський А.Н. Покращення ефективності гідролічеських слідячих приводів іспитального обладнання: Дис. доктора техн. наук 05.02.03/А.Н. Складаревський. – Запоріжжя: Запоріжський національний технічний університет, 2004.
12. Скворчевський А.Е. Електронногідролічеські пропорційні перетворювачі – сучасні компоненти мехатроніки для систем приводів // Вестн. Національного технічного університету «ХПІ». Технології в машинобудуванні – Харків: НТУ «ХПІ», 2004. – № 44. – С. 65-72.
13. MOOG Durchflub-Servoventile baureihe 76. Каталог фірми MOOG.
14. Hydraulik- und elektronik-komponenten für proportional- und servo-systeme. Mannesmann Rexroth GmbH, Würzburg, 1988.
15. Свешиников В.К. Станочные гидроприводы: Справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. Машиностроение, 1988.
16. Скворчевський А.Е. Дослідження характеристик маслянонаповнених пропорційних електромагнітів для гідролічеської мобільної машини // Механіка та машинобудування. – Харків: НТУ «ХПІ», 2002. – № 1 – С. 159-166.
17. Скворчевський А.Е. Математичне моделювання функціонування клапанної гідролічеської системи з електричним пропорційним управлінням // Механіка та машинобудування. – Харків: НТУ «ХПІ», 2004. – №1. – С. 229-235.
18. Скворчевський А.Е. Комплекс уніфікованого гідролічеського обладнання для систем гідролічеських мобільних машин // Східно-європейський журнал передових технологій. – Харків, 2004. – №4 – С. 13-15.
19. Гидравлическое оборудование. Часть 3: Отраслевой каталог. – М.: ВНИИТЭМР, 1992.
20. Техника гидравлических систем плюс электроника/ Каталог фирмы Vickers.
21. Разинцев В.И. Электрогидравлические усилители мощности. – М. Машиностроение, 1980.
22. Александров Е.Е., Никонов О.Я., Олиарник Б.А. Построение области устойчивости замкнутой системы наведения и стабилизации в плоскости коэффициентов усиления электронного блока управления // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – К., 2004. – №3. – С.15-18.
23. Хохлов В.А. Гидравлические усилители мощности. – М. Издательство академии наук СССР, 1963.
24. Комбинированная электронно-гидравлическая система автоматического регулирования. Каталог. – М., 1961.
25. Заява на отримання патенту на винахід № 2004021138 від 17 лютого 2004 р. Електрогідролічний підсилювач. Авт. Скворчевський О.Є. МПК 7 F15B3/00.
26. Емельянов С.В. Системы автоматического управления с переменной структурой. – М., Наука, 1967.